



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN MULTI SEGMENT INCLINOMETER BERBASIS ACCELEROMETER DAN MOISTURE SENSOR (STUDI KASUS MODEL LERENG)

HAMZAH AFIF
NRP 03411440000011

Dosen Pembimbing I:
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 1002

Dosen Pembimbing II:
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



TUGAS AKHIR - RF141501

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN MULTI SEGMENT INCLINOMETER BERBASIS ACCELEROMETER DAN MOISTURE SENSOR (STUDI KASUS MODEL LERENG)

HAMZAH AFIF
NRP 03411440000011

Dosen Pembimbing I:
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 1002

Dosen Pembimbing II:
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

MONITORING SYSTEM OF SOIL MOVEMENT USING MULTI SEGMENT INCLINOMETER BASED ON ACCELEROMETER AND MOISTURE SENSOR

HAMZAH AFIF
NRP 03411440000011

Dosen Pembimbing I:
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 1002

Dosen Pembimbing II:
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERGERAKAN TANAH
MENGUNAKAN MULTI SEGMENT INCLINOMETER BERBASIS
ACCELEROMETER DAN MOISTURE SENSOR (STUDI KASUS MODEL
LERENG)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 21 Januari 2018

Menyetujui,

1. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. (Pembimbing I)
NIP. 19591010 198803 1002
2. Juan Panda Gya Nur Rochman, S.Si, M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19890612 201504 1003
3. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.Si (Penguji I)
NIP. 19890612 201504 1003
4. Wien Lestari, S.T., M.T. (Penguji II)
NIP. 19811002 201212 2 003

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 1002

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “*Rancang Bangun Sistem Monitoring Pergerakan Tanah Menggunakan Multi Segment Inclinator Berbasis Accelerometer Dan Moisture Sensor (Studi Kasus Model Lereng)*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Januari 2019

Hamzah Afif
NRP. 03411440000011

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN MULTI SEGMENT INCLINOMETER BERBASIS ACCELEROMETER DAN MOISTURE SENSOR (STUDI KASUS MODEL LERENG)

Penulis : Hamzah Afif
NRP : 03411440000011
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 10002
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.
NIP. 19890612 201504 1003

ABSTRAK

Sistem monitoring pergerakan tanah adalah sistem yang digunakan untuk memantau parameter-parameter yang berpengaruh terhadap terjadinya pergerakan tanah. Parameter yang dipantau pada penelitian ini adalah perubahan sudut dan kadar kelembaban tanah. Perubahan sudut diukur menggunakan *inclinometer* berbasis *accelerometer* MPU 6050 dan kadar kelembaban tanah diukur menggunakan *moisture sensor* dari DfRobot. Prototipe alat berupa *multi segment inclinometer* berbasis Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler. Metode *multi segment inclinometer* mempunyai kelebihan dapat membaca pergerakan tanah melalui perubahan sudut yang bervariasi terhadap kedalaman. Prototipe alat dan sistem yang dibangun pada penelitian ini menggunakan *hardware* dan *software* dengan lisensi *open source* sehingga pembuatannya lebih mudah dan murah. Prototipe alat diuji pada sebuah model lereng. Uji yang dilakukan yaitu uji pengaruh sudut dan uji penambahan air. Hasil uji pengaruh sudut sebelum longsor terjadi perubahan sudut sebesar 6° dalam setengah detik. Pada uji penambahan air perubahan sudut sebesar 7° - 12° dalam setengah detik. Perubahan kadar air sebelum terjadi longsor sebesar 21%. Data yang diperoleh dari sensor ditampilkan secara *real time* menggunakan antarmuka Processing dan disimpan dalam bentuk .csv. Hasil analisa data menunjukkan sistem monitoring yang telah dibuat dapat membaca indikasi terjadinya longsor.

Kata kunci: Gerakan tanah, *multi segment inclinometer*, *accelerometer*, *moisture sensor*.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DESIGN OF SOIL MOVEMENT MONITORING SYSTEM USING MULTI SEGMENT INCLINOMETER BASED ON ACCELEROMETER AND MOISTURE SENSOR (CASE STUDY OF SLOPE MODEL)

Penulis : Hamzah Afif
NRP : 03411440000011
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.
NIP. 19591010 198803 10002
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.
NIP. 19890612 201504 1003

ABSTRACT

A ground movement monitoring system is a system used to monitor parameters that affect soil movement. The parameters monitored in this study were changes in angle and soil moisture content. Angular changes were measured using an inclinometer based on MPU 6050 accelerometer and the level of soil moisture was measured using a moisture sensor from DfRobot. The prototype tool is a multi segment inclinometer based on Arduino Mega 2560 as a microcontroller. The multi segment inclinometer method has the advantage of being able to read ground movements through changes in angles that vary with depth. The prototype tools and systems built in this study use hardware and software with an open source license so that the manufacture is easier and cheaper. The prototype tool is tested on a slope model. Tests carried out were angle effect test and water addition test. The test results of the effect of the angle before the landslide occur an angle change of 6 ° in half a second. In the water addition test the angle changes by 7 ° -12 ° in half a second. Change in water content before the landslide were 21%. Data obtained from sensors is displayed in real time using the Processing interface and stored in .csv extensions. The results of data analysis indicate that the monitoring system that has been made can read indications of landslides.

Keywords: ground movement, multi-segment inclinometer, accelerometer, moisture sensor.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Geofisika FTSLK ITS dengan judul:

“Rancang bangun sistem monitoring pergerakan tanah menggunakan multi segment inclinometer berbasis accelerometer dan moisture sensor (studi kasus model lereng)”

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis yang telah mengajarkan banyak hal baik, selalu sabar dalam membimbing dan menasehati, senantiasa memberi motivasi, serta atas kasih sayangnya yang luar biasa. Serta keluarga Bapak Sugito yang telah merawat dan membimbing sedari kecil.
2. Bapak Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. dan Bapak Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, ilmu, dan wawasan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dosen dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas lingkungan kampus yang menyenangkan. Terutama kepada Pak Heru yang telah sangat membantu dalam pembuatan model.
4. Seorang teman TG-03 atas dukungan dan bantuannya.

Terimakasih banyak atas doa dan dukungannya. Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis probadi maupun bagi pembaca

Surabaya, 21 Januari 2019

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xii
KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Tanah Longsor	3
2.1.1 Definisi Tanah Longsor	3
2.1.2 Faktor – Faktor Penyebab Longsor	5
2.2 Sensor <i>Accelerometer 3 Axis</i>	6
2.3 Sensor Kelembaban Tanah.....	8
2.4 Arduino Mega 2560	9
2.5 Arduino IDE.....	10
2.5 Processing	11
BAB III. METODE PENELITIAN	13
3.1 Alur Penelitian	13
3.2. Perancangan Perangkat Keras	14
3.2 Perancangan Perangkat Lunak	17

3.2.1 Alur Kerja Program Arduino IDE	18
3.2.2 Alur Kerja Program Processing	19
3.3 Pembuatan Model Uji.....	22
3.4 Alat dan Bahan	23
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Pengujian	25
4.1.1 Uji Pengaruh Sudut	25
4.2.2 Uji Pengaruh Kadar Air	28
4.2 Pembahasan.....	31
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengintegralan sederhana terhadap suatu sinyal	7
Gambar 2. 2 Modul accelerometer GY 521	8
Gambar 2. 3 Modul sensor kelembaban tanah.....	9
Gambar 2. 4 Papan Arduino Mega 2560	9
Gambar 2. 5 Tampilan awal Arduino IDE.....	10
Gambar 2. 6 Tampilan awal Processing	11
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	13
Gambar 3. 2 Skema perangkat keras	14
Gambar 3. 3 Visualisasi alat prototipe.....	15
Gambar 3. 4 Rangkaian modul GY 521 dengan Arduino.....	16
Gambar 3. 5 Rangkaian sensor kelembaban dengan Arduino	17
Gambar 3. 6 Alur kerja program Arduino	18
Gambar 3. 7 Alur kerja program Processing	20
Gambar 3. 8 Display data	21
Gambar 3. 9 Penyimpanan data	22
Gambar 3. 10 Model pengujian	23
Gambar 4. 1 Grafik Perubahan Sudut (Uji Sudut)	26
Gambar 4. 2 Rekahan pada uji sudut.....	27
Gambar 4. 3 Grafik Kadar Air (Uji Sudut)	28
Gambar 4. 4 Grafik Perubahan Sudut (Uji Kadar Air)	29
Gambar 4. 5 Grafik Kadar Air (Uji Kadar Air)	30
Gambar 4. 6 Luncuran pada uji kadar air	31

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi longsor (landslide) (Varnes, 1987)	3
Tabel 2. 2 Laju kecepatan gerakan tanah (Hansen, 1984)	5
Tabel 3. 1 Alat dan bahan	23
Tabel 4. 1 Data teknis pengukuran	25

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah longsor adalah suatu fenomena pergerakan massa batuan, tanah, atau bahan rombakan material penyusun lereng yang bergerak ke bawah atau ke luar lereng karena pengaruh gravitasi. Gerakan massa ini dapat terjadi pada lereng-lereng yang hambatan geser tanah atau batuanannya lebih kecil dari berat massa tanah atau batuan itu sendiri (Risdiyanto, 2011). Nilai hambatan geser yang kecil diakibatkan karena adanya suatu lapisan agak kedap air (umumnya berupa *clay*), yang jenuh oleh air. Faktor saturasi air juga berpengaruh pada penambahan berat massa batuan yang berada diatasnya. Intensitas hujan yang tinggi pada lereng dengan jenis tanah yang memiliki sifat kohesivitas rendah menjadikan daerah tersebut akan sangat rawan terjadi bencana longsor. Bencana longsor menurut data dari BNPB pada tahun 2018, menjadi bencana yang paling banyak menyebabkan korban jiwa. Sebagian besar daerah rawan longsor tersebut berada pada pemukiman masyarakat dengan kelas ekonomi menengah kebawah sehingga pemasangan dinding penahan lereng menjadi tidak efisien dilakukan. Dari total kebutuhan ratusan ribu sistem peringatan dini longsor, hingga saat ini baru 200 unit sistem peringatan dini longsor yang telah terpasang (BNPB, 2018).

Penelitian sebelumnya telah berhasil membuat prototipe untuk memantau terjadinya longsor. Sensor yang digunakan yaitu *accelerometer*, curah hujan, kadar air dan potensiometer dengan *output* berupa peringatan terjadinya longsor yang dikirim melalui SMS (Setiadi, 2017). Kekurangan dari prototype ini yaitu tidak dapat mengirimkan data secara *real-time*. Data-data yang diperoleh tidak ditampilkan sehingga tidak dapat dilakukan pemantauan pergerakan tanahnya. Permasalahan ini dapat diselesaikan oleh Supriyadi yang berhasil membuat prototipe alat yang dapat mengirimkan data secara *wireless* dan menampilkan data secara *real time* (Supriyadi, 2016). Pada penelitian ini Supriyadi menggunakan *accelerometer* MPU 6050 sebagai sensor untuk mengetahui perubahan sudut yang terjadi pada model lereng. Penggunaan sensor *accelerometer* ini juga diterapkan oleh Uchimura yang menggunakan 2 buah *accelerometer* yang disusun pada sebuah pipa. Metode ini dinamakan sebagai *multi segment inclinometer*. Penggunaan *multi segment inclinometer* ini lebih efektif karena menggunakan beberapa *accelerometer* yang ditanam pada 1 lubang sehingga dapat membandingkan data pergerakan tanah di permukaan dan pada kedalaman tertentu (Uchimura dkk., 2015). Hal ini dapat membantu untuk menentukan besaran longsor yang terjadi. Selain itu, penggunaan *multi segment inclinometer* ini juga lebih efisien dibandingkan dengan *ekstensometer* yang harus menggunakan tali sebagai indikator pergerakan tanahnya. Metode ini sendiri merupakan sebuah pendekatan yang baru sehingga masih diperlukan banyak penelitian lanjutan untuk meningkatkan efektivitasnya. Untuk membuatnya sendiri diperlukan keahlian khusus karena perakitannya yang rumit.

Penelitian ini akan membahas mengenai aplikasi metode *multi segment inclinometer* dengan menggunakan bahan-bahan yang sederhana dan lebih murah. Rancangan alat prototipe juga akan dilengkapi dengan *moisture sensor* untuk mengukur kadar air dalam tanah. Hal ini digunakan untuk mengetahui hubungan kadar air dengan terjadinya longsor. Data hasil pengukuran sensor akan ditampilkan secara *real time* dengan menggunakan software Processing sebagai antarmuka untuk memantau perubahan yang terjadi. Selain itu, data dapat disimpan dalam bentuk .csv sehingga dapat digunakan untuk analisa hubungan antara perubahan sudut dan kadar air dengan terjadinya longsor. Prototipe dirangkai dengan bahan-bahan yang lebih terjangkau dengan lisensi *open source*, sehingga pengembangan dan pengaplikasian prototipe pada lapangan akan lebih mudah dan murah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang prototype *multi segment inclinometer* sebagai sistem monitoring pergerakan tanah berdasarkan parameter perubahan sudut dan kadar air?

1.3 Batasan Masalah

1. Alat berupa prototipe dengan pengujian pada model lereng
2. Jumlah variasi kedalaman dari inclinometer sebanyak 2 buah.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang prototype *multi segment inclinometer* sebagai sistem monitoring pergerakan tanah berdasarkan parameter perubahan sudut dan kadar air dengan skala laboratorium.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini yaitu ketersediaan peralatan dan sistem yang terjangkau dalam pemantauan pergerakan tanah.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Longsor

2.1.1 Definisi Tanah Longsor

Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Menurut Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2005), tanah longsor didefinisikan sebagai massa tanah atau material campuran lempung, kerikil, pasir, dan kerakal serta bongkah dan lumpur, yang bergerak sepanjang lereng atau keluar lereng karena faktor gravitasi bumi. Menurut (Varnes, 1987) longsor (*landslide*) dapat diklasifikasikannya menjadi: jatuhan (*fall*), jungkiran (*topple*), luncuran (*slide*) dan nendatan (*slump*), aliran (*flow*), gerak bentang lateral (*lateral spread*), dan gerakan majemuk (*complex movement*). Untuk lebih jelasnya klasifikasi tersebut disampaikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi longsor (*landslide*) (Varnes, 1987)

Jenis Gerakan			Jenis Material		
			Batuan dasar	Tanah Keteknikan	
				Bebas, butir kasar	Berbutir halus
Jatuhan			Jatuhan batu	Jatuhan bahan rombakan	Jatuhan tanah
Jungkiran			Jungkiran batu	Jungkiran bahan rombakan	Jungkiran tanah
Gelinciran	Rotasi	Satu an sedi kit	Nendatan batu	Nendatan bahan rombakan	Nendatan tanah
	Translasi	Satu an bany ak	Luncuran bongkah batu	Luncuran bongkah bahan rombakan	Luncuran bongkah tanah
			Luncuran batu	Luncuran rombakan bahan	Luncuran tanah
Gerak horisontal / bentang lateral			Bentang lateral batu	Bentang lateral bahan	Bentang lateral tanah
Aliran			Aliran batu/rayapan dalam	Aliran bahan rombakan	Aliran tanah
				Rayapan tanah	
Majemuk			Gabungan dua atau lebih gerakan		

Longsor atau *landslide* mengandung pengertian yang luas, maka istilah *slides* digunakan kepada longsor gelinciran yang terdiri atas luncuran atau *slide* (longsor gelinciran translasional) dan nendatan atau *slump* (longsor gelinciran rotasional). Berbagai jenis longsor (*landslide*) dalam beberapa klasifikasi di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Longsor-longsor gelinciran (*slides*) adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. *Slides* dibagi lagi menjadi dua jenis. Disebut luncuran (*slide*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah. Bila longsor gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional, maka disebut nendatan (*slump*).

Longsor tipe translasional maupun rotasional, ada batas antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir), kedalaman batas tersebut dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longsor. Terdapat 4 (empat) kelas kedalaman bidang gelincir, yaitu:

- a) Sangat dangkal (<1,5 meter);
 - b) Dangkal (1,5 s.d. 5 meter);
 - c) Dalam (antara 5 sampai 20 meter);
 - d) Sangat dalam (>20 meter).
- Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain seperti terlihat pada gambar 2.2. Termasuk jenis gerakan ini adalah runtuh (urug, lawina, *avalanche*) batu, bahan rombakan maupun tanah.
 - Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar airtanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longsor antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah *sandrun* (larianpasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan jenis gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.
 - Rayapan (*creep*) adalah gerakan yang dapat dibedakan dalam hal kecepatan gerakannya yang secara alami biasanya lambat. Untuk membedakan longsor dan rayapan, maka kecepatan gerakan tanah perlu diketahui (Tabel 2.2). Rayapan (*creep*) dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: rayapan musiman yang dipengaruhi iklim, rayapan bersinambungan yang dipengaruhi kuat geser dari material, dan rayapan melaju yang berhubungan dengan keruntuhan lereng atau perpindahan massa lainnya (Hansen, 1984).

Longsor majemuk (*complex landslide*) adalah gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsor majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan.

Menurut (Pasuto dan Soldati, 1997), longsor majemuk diantaranya adalah bentangan lateral batuan, tanah maupun bahan rombakan.

- Gerak horisontal / bentangan lateral (*lateral spread*), merupakan jenis longsor yang dipengaruhi oleh pergerakan bentangan material batuan secara horisontal. Biasanya berasosiasi dengan jungkiran, jatuhnya batuan, nendatan dan luncuran lumpur sehingga biasa dimasukkan dalam kategori *complex landslide* - longsor majemuk (Pasuto dan Soldati, 1997). Prosesnya berupa rayapan bongkah-bongkah di atas batuan lunak. Pada bentangan lateral tanah maupun bahan rombakan, biasanya berasosiasi dengan nendatan, luncuran atau aliran yang berkembang selama maupun setelah longsor terjadi. Material yang terlibat antara lain lempung (jenis *quick clay*) atau pasir yang mengalami luncuran akibat gempa.

Tabel 2. 2 Laju kecepatan gerakan tanah (Hansen, 1984)

Kecepatan	Keterangan
> 3meter/detik	Ekstrem sangat cepat
3 meter/detik s.d. 0.3 meter/menit	Sangat cepat
0.3 meter/menit s.d. 1.5 meter/hari	Cepat
1.5 meter/hari s.d. 1.5 meter/tahun	Sedang
1.5 meter/bulan s.d. 1.5 meter/bulan	Lambat
0.06 meter/tahun s.d. 1.5 meter/tahun	Sangat lambat
< 0.06 meter/tahun	Ekstrem sangat lambat

2.1.2 Faktor – Faktor Penyebab Longsor

Penyebab longsor terbagi atas faktor internal (faktor dari lereng itu sendiri) dan faktor eksternal (faktor diluar lereng). Faktor-faktor internal antara lain; kegempaan, iklim (curah hujan), vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat (Hirawan, 1993), tingkat kelembaban tanah (*moisture*), adanya rembesan, dan aktifitas geologi seperti patahan (terutama yang masih aktif), rekahan dan liniasi. Proses eksternal penyebab longsor diantaranya adalah :

- Pelapukan (fisika, kimia dan biologis) dan erosi,
- penurunan tanah (*ground subsidence*),
- deposisi (fluvial, glasial dan gerakan tanah),
- getaran dan aktivitas seismik,
- jatuhnya tepra,

- perubahan rejim air.

a. Curah Hujan

Curah hujan menjadi salah satu faktor paling utama dalam menyebabkan longsor. Jumlah air yang meningkat mengakibatkan peningkatan kadar airtanah (*water content*; %), derajat kejenuhan (*saturation*; %), dan muka airtanah (Bowles, 1989). Kenaikan air tanah akan menurunkan sifat fisik dan mekanik tanah dan meningkatkan tekanan pori (μ) yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng. Debit air tanah juga membesar dan erosi di bawah permukaan (*piping atau subaqueous erosion*) meningkat. Akibatnya lebih banyak fraksi halus (lanau) dari masa tanah yang dihanyutkan, lebih jauh ketahanan massa tanah akan menurun (Hirawan, 1993)

Pada saat musim kemarau, air yang terkunci di dalam tanah akan menguap dalam jumlah yang cukup besar. Hal ini kemudian meninggalkan permukaan tanah dalam keadaan berongga atau berpori yang dalam keadaan tertentu akan berujung pada retakan tanah. Pada saat masuk musim penghujan, air kemudian akan memenuhi retakan pada tanah. Selanjutnya tanah akan mengembang/merekah. Namun hal ini kemudian berbuntut pada munculnya gerakan lateral sebab air terakumulasi pada bagian dasar lereng. Kondisi ini rawan longsor terlebih pada lokasi tersebut jarang terdapat pepohonan sebagai penyerap air dan pengikat tanah (Setiadi, 2017)

b. Ketidakseimbangan Beban di Puncak dan di Kaki Lereng

Beban tambahan di tubuh lereng bagian atas (puncak) mengikutsertakan peranan aktifitas manusia semisal pendirian bangunan-bangunan diatas lereng. Beban pada tanah dipucuk lereng aka semakin bertambah dan mengakibatkan *subsidence*. Penurunan tanah (*subsidence*) dapat terjadi akibat adanya konsolidasi, yaitu penurunan permukaan tanah sehubungan dengan proses pemadatan atau perubahan volume suatu lapisan tanah. Proses ini dapat berlangsung lebih cepat bila terjadi pembebanan yang melebihi faktor daya dukung tanahnya ataupun pengambilan air tanah yang berlebihan dan berlangsung relatif cepat. Pengambilan air tanah yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan muka air tanah (pada sistem akuifer air tanah dalam) dan turunnya tekanan hidrolik, sedangkan tekanan antar batu bertambah. Penurunan tanah pada umumnya terjadi pada daerah dataran yang dibangun oleh batuan atau tanah yang bersifat lunak.

Pengurangan beban di kaki lereng diantaranya oleh aktivitas penambangan bahan galian, pemangkasan (*cut*) kaki lereng untuk perumahan, jalan dan lainlain, atau erosi (Hirawan, 1993)

2.2 Sensor Accelerometer 3 Axis

Accelerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (*vibrasi*), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (*inklinasi*). Sensor *accelerometer* mengukur percepatan akibat gerakan

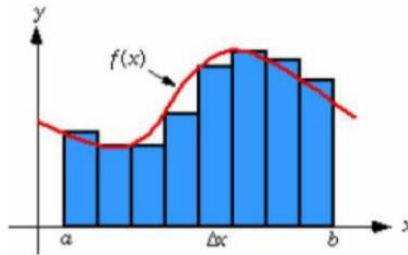
benda yang melekat padanya. *Accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur getaran pada mobil, mesin, bangunan, dan instalasi pengaman. Sensor *accelerometer* juga dapat diaplikasikan pada pengukuran aktivitas gempa bumi dan peralatan-peralatan elektronik, seperti permainan 3 dimensi, mouse komputer, dan telepon. Untuk aplikasi yang lebih lanjut, sensor ini banyak digunakan untuk keperluan navigasi (Setiadi, 2017).

Percepatan merupakan suatu keadaan berubahnya kecepatan terhadap waktu. Bertambahnya suatu kecepatan dalam suatu rentang waktu disebut juga percepatan (*acceleration*). Jika kecepatan semakin berkurang daripada kecepatan sebelumnya, disebut *deceleration*. Percepatan juga bergantung pada arah/orientasi karena merupakan penurunan kecepatan yang merupakan besaran vektor. Berubahnya arah pergerakan suatu benda akan menimbulkan percepatan pula.

Untuk memperoleh data jarak dari sensor *accelerometer*, diperlukan proses integral ganda terhadap keluaran sensor.

$$s = \int(\int(a)dt)dt \quad (1)$$

Proses penghitungan ini dipengaruhi oleh waktu cuplik data, sehingga jeda waktu cuplik data (dt) harus selalu konstan dan dibuat sekecil mungkin. Secara sederhana, integral merupakan luas daerah di bawah suatu sinyal selama rentang waktu tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Setiadi, 2017).



Gambar 2. 1 Pengintegralan sederhana terhadap suatu sinyal $f(x)$

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i)\Delta x \quad (2)$$

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} \quad (3)$$

Persamaan pengintegralan pada persamaan (2) masih memiliki error yang cukup besar. Untuk lebih mengoptimalkan hasil pengintegralan maka dapat digunakan metode Runge-Kutta dengan pendekatan trapezoidal seperti pada persamaan (4).

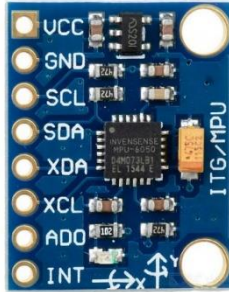
$$x_k = x_{k-1} + \frac{h}{2} [f(x_k, t_k) + f(x_{k-1}, t_{k-1})] \quad (4)$$

Dari persamaan (4) dapat diketahui bahwa hasil integral saat ini (x_k) dipengaruhi oleh hasil integral sebelumnya (x_{k-1}), masukan saat ini dan masukan sebelumnya, serta waktu cuplik antar data masukan (h). Percepatan yang diperoleh

dari hasil pengukuran *accelerometer* pada kenyataannya bukanlah data percepatan benda murni, melainkan juga terdapat *noise*.

$$U = a + r + d \quad (5)$$

Nilai a merupakan percepatan benda sesungguhnya, nilai r adalah *random noise*, dan d adalah *drift noise* (Setiadi, 2017).



Gambar 2. 2 Modul accelerometer GY 521

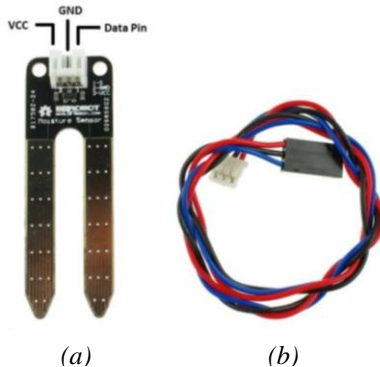
Modul GY 521 pada Gambar 2.2 menggunakan sensor MPU 6050 yang merupakan *Motion Processing Unit* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya sehingga dapat langsung digunakan dengan tegangan *supply* sebesar 3.3 V – 5 V dengan resolusi 0.01 derajat. Modul ini menggunakan interface I2C maksimal 16 bit. Sensor akselerometer ini cocok digunakan untuk peralatan portabel karena mudah disambungkan dengan mikrokontroler lewat antarmuka I2C.

2.3 Sensor Kelembaban Tanah

Kandungan air dalam tanah mengindikasikan jumlah air yang ditahan di dalam tanah setelah kelebihan air dialirkan. Kandungan air ini dapat ditentukan secara langsung melalui pengukuran perbedaan berat tanah (*gravimetric method*) dan perbedaan volume (*volumetric method*). Selain itu, juga dapat ditentukan secara tidak langsung melalui pengukuran sifat-sifat yang berkaitan erat dengan daya hantar listrik (*resistance method*) dan tegangan (*voltage method*) (Gani dkk., 2013).

Pengukuran kandungan air dalam tanah berdasarkan daya hantar listrik dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor *soil moisture*. Sensor ini merupakan sensor dengan teknologi rendah namun ideal untuk memantau kadar air tanah untuk tanaman. Sensor ini menggunakan dua konduktor untuk melewatkan arus melalui tanah, kemudian membaca nilai resistensi untuk mendapatkan tingkat kelembaban (Gaddam dkk., 2004). Lebih banyak air dalam tanah akan membuat tanah lebih mudah menghantarkan listrik (nilai resistensi lebih besar), sedangkan tanah kering akan mempersulit untuk menghantarkan listrik (nilai resistensi kurang) (Sudana, 2010).

Sensor *soil moisture* dalam penerapannya membutuhkan daya sebesar 3,3v atau 5 v dengan keluaran tegangan sebesar 0-4,2v. Sensor ini memiliki 3 pin yang terdiri dari pin ground, 5v dan data. Gambar 2.3 merupakan gambaran dari modul sensor *soil moisture*.



Gambar 2. 3 Modul sensor kelembaban yang terdiri atas (a) *Moisture water sensor* dan (b) Kabel konektor

2.4 Arduino Mega 2560

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open source*. Hardware yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Platform arduino terdiri dari arduino *board*, *shield*, bahasa pemrograman arduino dan arduino *development environment*. Arduino Mega menggunakan IC mikrokontroler ATmega 2560. Board ini memiliki 54 pin digital Input / Output, 15 pin *output* PWM, 16 buah analog Input, 4 UART, 16 Mhz osilator kristal, koneksi USB dan *power jack*.



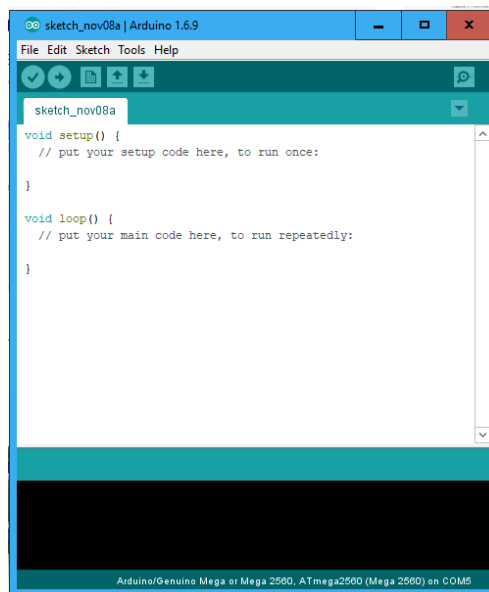
Gambar 2. 4 Papan Arduino Mega 2560

Bahasa pemrograman arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++. Tetapi bahasa ini sudah dipermudah menggunakan fungsi-fungsi sederhana sehingga pemula bisa mempelajarinya dengan mudah (Maulin, Sulvina. 2008). Board Arduio Mega 2560 seperti terlihat pada Gambar 2.4.

Pada penelitian ini, Arduino Mega 2560 digunakan sebagai mikrokontroler yang berfungsi untuk mengatur pengambilan data dari sensor dan megirimkan data ke laptop.

2.5 Arduino IDE

IDE atau *Integrated Development Environment* merupakan aplikasi *cross platform* yang diciptakan khusus untuk mengunggah kode ke papan arduino. IDE terdiri dari editor teks untuk menulis kode, sebuah area pesan, sebuah konsol, sebuah toolbar dengan tombol-tombol untuk fungsi yang umum dan beberapa menu. Tampilan awal pada Arduino IDE seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Tampilan awal Arduino IDE

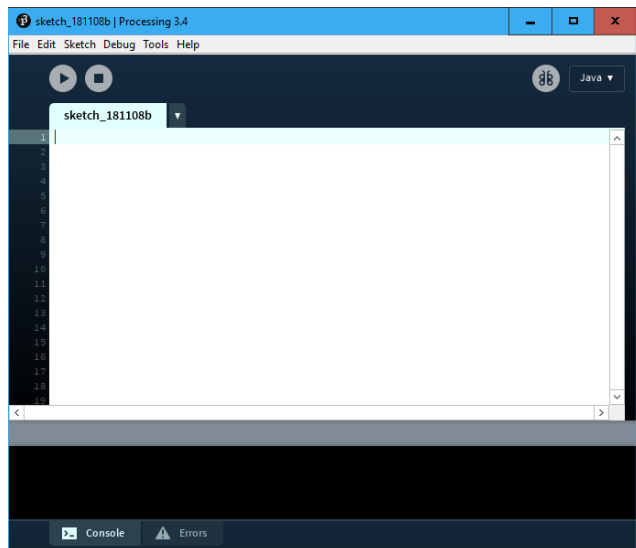
Program yang ditulis menggunakan Arduino IDE disebut dengan *sketch* yang disimpan dengan ekstensi *.ino*. IDE ini ditulis dengan bahasa C dan Java dengan disertai *library* yang memudahkan pengguna awam. *Sketch* pada Arduino IDE memiliki 2 fungsi dasar yaitu *setup()* dan *loop()*.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan Arduino IDE untuk menulis kode yang digunakan untuk mengatur akuisisi data dari sensor, melakukan perhitungan,

pre-processing, dan mengirimkan data dari papan Arduino ke laptop. IDE yang digunakan adalah versi 1.6.9.

2.5 Processing

Processing adalah bahasa pemrograman dan lingkungan pemrograman (*development environment*) open source untuk memprogram gambar, animasi dan interaksi. Processing lebih fokus pada grafis dan interaksi ketimbang pada struktur data. Processing mengaitkan konsep software pada prinsip-prinsip bentuk rupa, gerak, dan interaksi. Lingkungan pemrograman Processing terdiri dari teks editor terintegrasi dan jendela tampilan untuk menampilkan program seperti pada Gambar 2.6. Dari jendela lingkungan utama, bisa menjalankan, menghentikan, menyimpan, membuka, dan mengeksport file.



Gambar 2. 6 Tampilan awal Processing

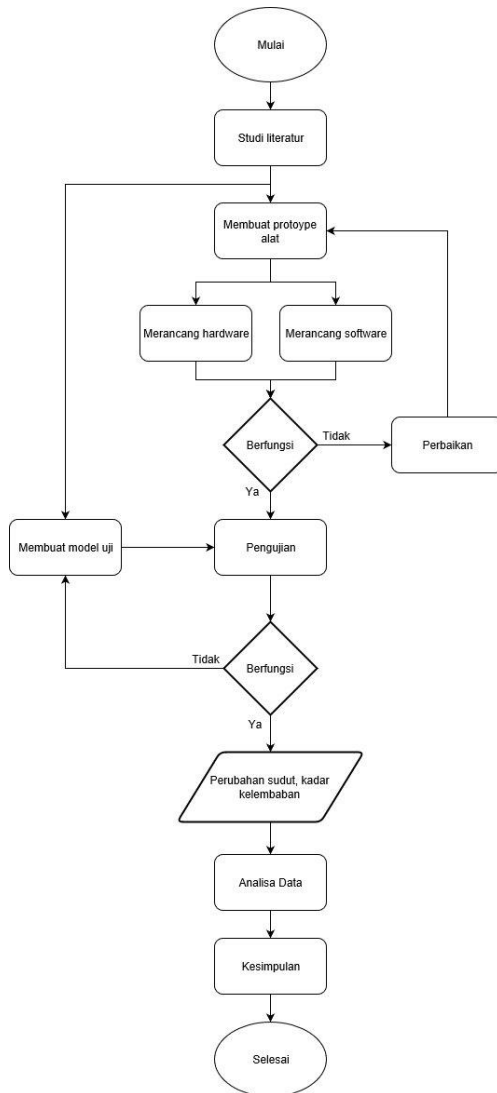
Software ini dapat dengan mudah diintegrasika dengan mikrokotroler seperti Arduino untuk menangani *user interface* akuisisi maupun menampilkan data. Pada penelitian ini, penulis menggunakan Processing untuk menampilkan data menjadi bentuk grafik-grafik yang mudah dipahami dari yang telah diperoleh melalui serial Arduino secara *real time*.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dijelaskan melalui diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 dibawah ini.

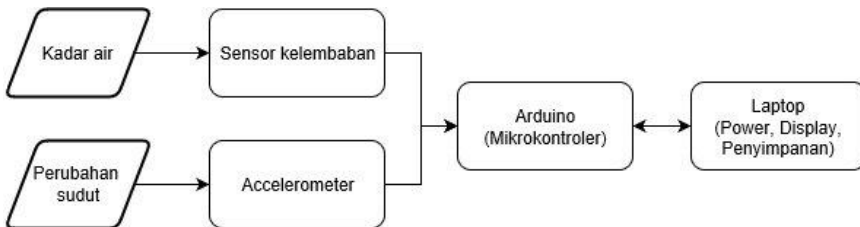


Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Proses pembuatan prototipe terbagi atas 3 tahapan, yaitu perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak dan pembuatan model uji. Pada setiap rancangan rangkaian perangkat keras dan program perangkat lunak dilakukan uji coba fungsional untuk memastikan hasil rancangan dapat berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian pada model uji. Pengujian pada model lereng juga dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Ada 2 jenis modul sensor yang digunakan yaitu GY 521 sebagai *accelerometer* dan modul sensor kelembaban tanah. Skema perangkat keras ini dijelaskan melalui gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Skema perangkat keras

Ketika terjadi pergerakan tanah, maka tanah akan mendorong pipa elastis yang didalamnya terdapat sensor *accelerometer*. Dorongan ini akan mengakibatkan perubahan sudut yang kemudian akan diukur oleh *accelerometer*. Perubahan derajat kemiringan dan kadar air dianalisa pengaruhnya terhadap kejadian longsor pada model pengujian.

Penggunaan alat prototipe yaitu dengan cara ditanam pada model lereng. Data yang diambil dari sensor akan ditampilkan pada laptop melalui serial USB pada mikrokontroler. Gambaran mengenai prototipe dengan metode *multi segment inclinometer* dapat dilihat pada gambar 3.3



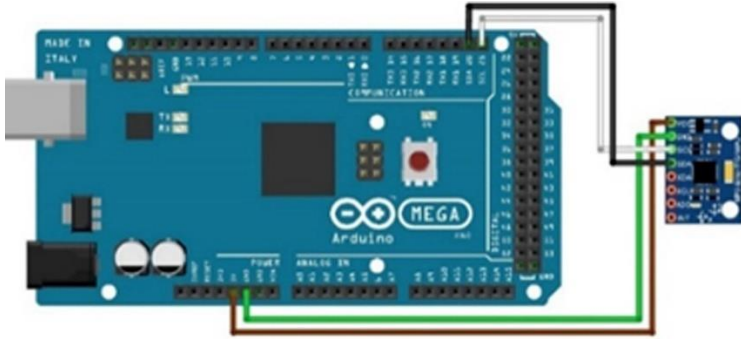
Gambar 3. 3 Visualisasi alat prototipe

Prototipe alat yang dibuat berupa *multi-segment inclinometer* yang terdiri atas:

- *Inclinometer*

Sensor *accelerometer* berfungsi sebagai pengukur derajat kemiringan (*inclinometer*). Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler melalui komunikasi I2C. Komunikasi I2C dilakukan dengan 2 kabel yaitu SDA dan SCL. Modul GY 521 memiliki 2 alamat I2C yaitu 0X68 dan 0X69. Secara default, alamat yang digunakan adalah 0X68. Apabila ingin menggunakan lebih dari 1 modul dalam 1 mikrokontroler maka dapat menggunakan alamat 0X69.

Pada penelitian ini digunakan 2 modul GY 521 yang dihubungkan pada 1 mikrokontroler Arduino Mega 2560. Modul GY 521 pertama menggunakan alamat I2C 0X68, dan modul GY 521 kedua menggunakan alamat 0X69. Pemindahan alamat I2C dilakukan dengan menghubungkan pin Vcc pada mikrokontroler dengan pin AD0 pada modul dengan membiarkan pin Vcc pada modul tidak tersambung. Sambungan antara 2 modul GY 521 dengan mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Rangkaian modul GY 521 dengan Arduino

Output dari modul GY 521 yaitu nilai pada sumbu x,y,z dari *accelerometer* dan nilai pada sumbu x,y,z dari giroskop. Pada penelitian ini nilai-nilai yang didapat dikalkulasikan untuk mendapatkan besaran sudut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung sudut dari *accelerometer* adalah sebagai berikut

$$radian = \frac{AcY}{\sqrt{AcZ^2 + AcX^2}} \quad (6)$$

Ac merupakan nilai dari *accelerometer* pada sumbu tertentu. Nilai yang didapat pada persamaan diatas diubah menjadi sudut dalam satuan derajat dengan persamaan

$$\theta_{Ac} = \frac{\text{atan } radian \times 180^\circ}{\pi} \quad (7)$$

Nilai θ_{Ac} merupakan sudut yang didapat dari *accelerometer*. Nilai dari *accelerometer* ini relatif akurat sesuai dengan sensitifitas modul namun memiliki kelemahan yaitu nilainya tidak stabil. Untuk mengatasi ketidakstabilan dari nilai *accelerometer*, maka dikombinasikan dengan nilai yang didapat dari giroskop.

Nilai giroskop didapat dari nilai sumbu X dibagi dengan sensitivitas dari modul GY 521

$$v_{an} = \frac{(GyX \times 200)}{131} \quad (8)$$

131 adalah nilai sensitivitas dari modul yang didapat dari *datasheet*. Nilai an adalah *angular velocities*. Untuk mendapat nilai sudut dari giroskop, *angular velocities* dibagi dengan waktu menurut persamaan

$$\theta_{Gy} = \frac{an}{dt} \quad (9)$$

dt adalah waktu pada saat tertentu dengan satuan ms.

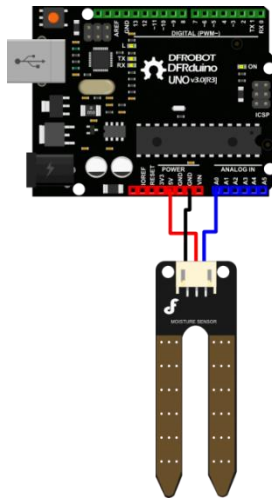
Nilai giroskop relatif lebih stabil dibandingkan dengan nilai dari *accelerometer*, namun nilai giroskop memiliki dapat terpengaruh efek *shifting*. Efek ini dapat dikurangi dengan mengombinasikan dengan nilai

accelerometer. Dalam penelitian ini, nilai sudut yang digunakan didapat dari kombinasi nilai sudut dari *accelerometer* dengan giroskop menurut persamaan

$$\theta = (0.8 \times \theta_{Gy}) + (0.2 \times \theta_{Ac}) \quad (10)$$

- Sensor Kelembaban

Sensor kelembaban, akan menghitung perubahan nilai *output* pada sensor akibat dari perubahan kadar air. Sensor ini akan mengukur konstanta dielektrik dari tanah yang merupakan parameter yang sensitif terhadap kandungan air pada tanah. Diperlukan perhitungan dari nilai *output* sensor untuk mendapatkan nilai kadar air dalam bentuk presentase. Perhitungan dilakukan melalui mikrokontroler, sehingga data yang dikirim ke laptop sudah merupakan hasil hasil perhitungan. Gambar rangkaian untuk sensor kadar air dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Rangkaian sensor kelembaban dengan Arduino

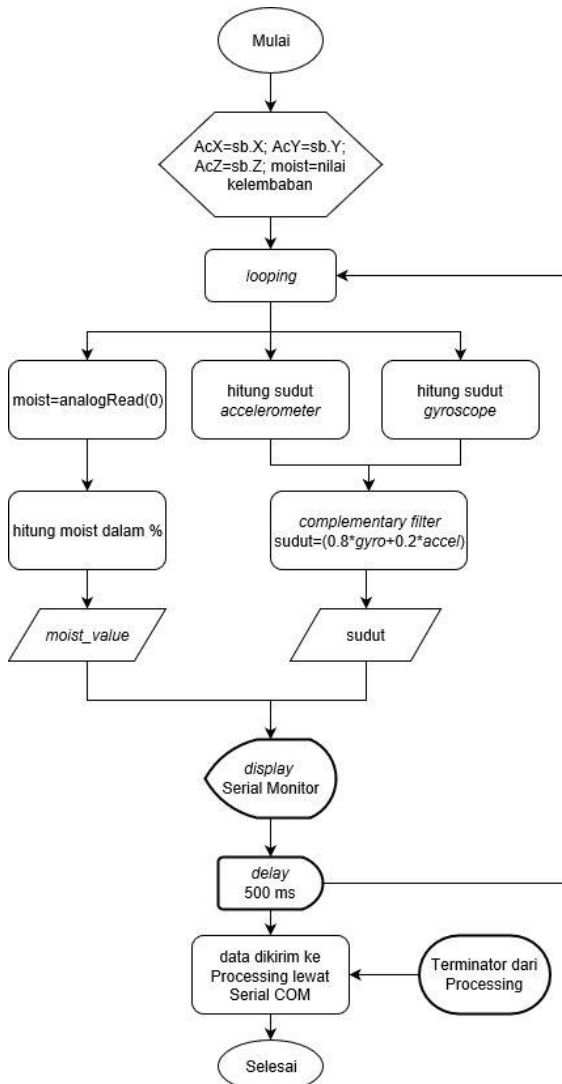
3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Sistem perangkat lunak yang dibuat pada penelitian ini terbagi menjadi 2 bagian. Bagian pertama berfungsi sebagai pengendali sensor yang memberikan perintah untuk akuisisi data dan pemrosesan. Perangkat lunak yang digunakan yaitu Arduino IDE versi 1.6. Bagian kedua yaitu perangkat lunak yang bertujuan untuk menampilkan data secara *real time* yang dilakukan melalui antarmuka Processing. Bagian ini menjadi bagian penting dalam pembuatan sistem monitoring karena memungkinkan pengguna untuk dapat memantau secara langsung paramter-paramter yang diamati. Pada perangkat lunak Processing ini

juga diberikan perintah penyimpanan data kedalam format .csv untuk analisa data lebih lanjut.

3.2.1 Alur Kerja Program Arduino IDE

Workflow program Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Alur kerja program Arduino

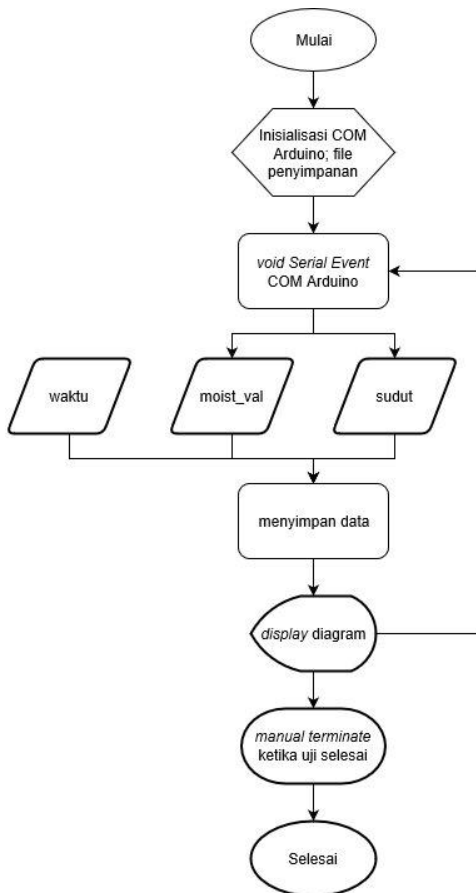
Secara umum kode program Arduino berisi:

- Inisialisasi sensor, yang berfungsi untuk memanggil fungsi-fungsi yang terdapat pada modul. Selain itu, dalam bagian ini kita juga mendefinisikan variabel-variabel yang akan digunakan dalam program.
- Akuisisi data, yakni membaca nilai *output* dari masing-masing sensor. Pada sensor *accelerometer*, data dibaca melalui jalur komunikasi I2C. Pada sensor kelembaban, data dibaca melalui pin analog yang kemudian diubah menjadi digital melalui *built-in* ADC yang terdapat di Arduino. Data-data yang didapat dari sensor ini masih merupakan nilai-nilai *output* sensor, sehingga diperlukan perhitungan untuk mendapatkan data yang diinginkan yaitu berupa nilai sudut dan nilai kelembaban.
- Perhitungan, untuk menghitung nilai *output* sensor menjadi data sudut dan kelembaban. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ditulis dalam persamaan 6-10.

Penulisan data ke Serial Monitor bertujuan untuk melihat data-data yang telah diperoleh dan memastikan bahwa program berjalan lancar dan juga sebagai media untuk mengirimkan data ke software Processing.

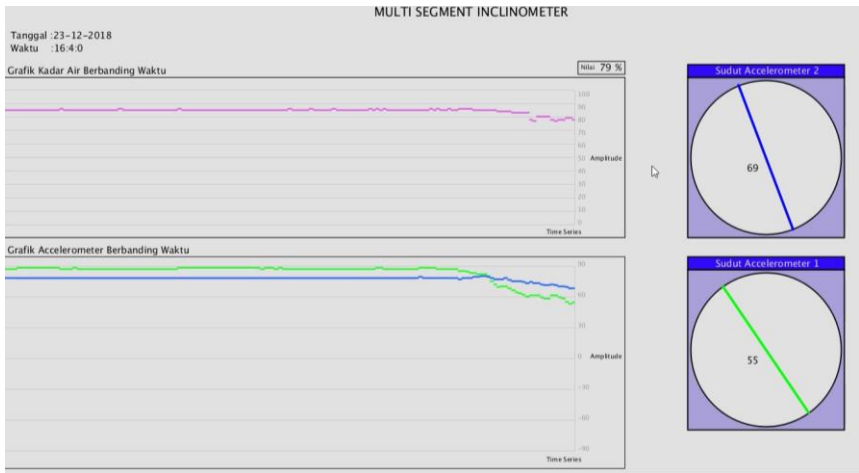
3.2.2 Alur Kerja Program Processing

Workflow program Processing dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 3. 7 Alur kerja program Processing

Ada 2 *output* dari program Processing yaitu *display data real time* dan file hasil penyimpanan data. Hasil *display data real time* ditampilkan pada Gambar 4.3 dibawah



Gambar 3. 8 *Display* data yang berisi grafik kadar air berbanding waktu, grafik accelerometer berbanding waktu, visualisasi sudut dan waktu.

Display menampilkan informasi data dari sensor secara *real time*. Data diperoleh dan diperbarui setiap 0.5 detik. Interval waktu ini dipilih karena mempertimbangkan waktu pengujian yang sangat singkat (sekitar 1 menit). Pengambilan data dengan interval yang sangat pendek ini sebenarnya memiliki risiko data yang diperoleh akan mudah terpengaruh oleh fluktuasi pada sensor. Selain itu, jumlah data yang diperoleh akan sangat banyak sehingga membutuhkan kapasitas penyimpanan yang besar. Dalam kondisi lapangan yang sebenarnya, interval waktu dapat diperpanjang hingga hitungan 5 menit atau 10 menit untuk mengurangi kapasitas penyimpanan data.

Data yang ditampilkan berupa grafik perubahan sudut per waktu dan grafik perubahan kadar air per waktu. Pada *display* terdapat 2 nilai *accelerometer* yaitu 1 dan 2. *Accelerometer* 1 adalah sensor yang ditempatkan pada bagian atas dan *accelerometer* 2 pada bagian bawah. *Display* juga menampilkan visualisasi kemiringan sensor dari data *accelerometer*. Visualisasi ini memuat nilai sudut dan juga garis yang kemiringannya mengikuti nilai sensor. Garis ini dapat berputar 360° dengan 0° pada sumbu horizontal dan 90° pada sumbu vertikal searah jarum jam. Visualisasi ini berguna untuk memberikan kemudahan untuk membayangkan gambaran kondisi kemiringan dari sensor.

Output lainnya yaitu file penyimpanan data. File ini berekstensi .csv yang dapat dibuka di notepad atau Excel. Data-data yang disimpan seperti pada Gambar 4.4. Data yang disimpan memuat data-data yang didapat dari sensor dan data waktu dan kalender sebagai bagian dari sistem monitoring *real time*.

	A	B	C	D	E	F	G
	Tanggal	Waktu	Δ Waktu (detik)	Kadar Air	Accelerometer 1	Accelerometer 2	
1	24:12:2018	13.49.18	0	99	80	72	
2	24:12:2018	13.49.18	0.5	99	80	72	
3	24:12:2018	13.49.19	1	98	80	72	
4	24:12:2018	13.49.19	1.5	99	80	72	
5	24:12:2018	13.49.20	2	98	80	72	
6	24:12:2018	13.49.20	2.5	99	81	73	
7	24:12:2018	13.49.21	3	99	81	73	
8	24:12:2018	13.49.21	3.5	98	81	73	
9	24:12:2018	13.49.22	4	99	80	73	
10	24:12:2018	13.49.22	4.5	99	80	73	
11	24:12:2018	13.49.23	5	101	80	72	
12	24:12:2018	13.49.23	5.5	103	80	72	
13	24:12:2018	13.49.24	6	103	80	72	
14	24:12:2018	13.49.24	6.5	104	80	72	
15	24:12:2018	13.49.25	7	104	80	72	
16	24:12:2018	13.49.25	7.5	104	80	72	
17	24:12:2018	13.49.26	8	104	80	72	
18	24:12:2018	13.49.26	8.5	104	80	72	
19	24:12:2018	13.49.27	9	104	80	72	
20	24:12:2018	13.49.27	9.5	104	80	72	
21	24:12:2018	13.49.28	10	104	80	72	
22	24:12:2018	13.49.28	10.5	105	80	72	
23	24:12:2018	13.49.29	11	104	80	72	
24	24:12:2018	13.49.29	11.5	104	80	72	

Gambar 3. 9 File untuk menyimpan data yang diperoleh dari sensor.

3.3 Pembuatan Model Uji

Pengujian alat prototipe dilakukan pada model longsor yang dibuat dengan skala laboratorium. Pada penelitian ini dibuat sebuah model kotak dari papan akrilik sebagai wadah untuk tanah dengan dimensi panjang lebar tinggi sebesar 70 cm, 35 cm dan 28 cm. Pada salah satu kotak diberi papan yang memiliki lubang-lubang dengan diameter 1 cm yang berada 1 cm dari bagian paling bawah sebagai jalan untuk infiltrasi air ke tanah. Visualisasi model pengujian seperti pada Gambar 3.6.

Papan akrilik digunakan karena warnanya yang transparan sehingga memudahkan dalam pengamatan pergerakan tanah. Kotak akrilik ini ditempatkan diatas papan kayu yang memiliki engsel sebagai alat untuk mengatur sudut kemiringan model. Sampel tanah yang digunakan untuk pengujian adalah tanah bertekstur pasir lempungan berwarna coklat yang diambil dari daerah Mojosari, Jawa Timur.



(a)



(b)

Gambar 3. 10 (a) Model uji ketika belum diisi tanah. (b) Model ketika diisi tanah dengan ketebalan 10 cm dengan sudut 26°

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan bahan

No	Jenis	Nama	Keterangan
1	Hardware	Arduino Mega 2560	Sebagai mikrokontroler
2		Modul sensor GY521	Sebagai sensor kemiringan sudut
3		Modul sensor kelembaban DfRobot v.2.1	Sebagai sensor kelembaban
4		PCB	Menghubungkan antara kabel sensor dengan mikrokontroler
5		Laptop	Sebagai display data dan catu daya
6		Kabel LAN	Menghubungkan mikrontroler dengan laptop
7	Software	Arduino IDE	Mengatur program untuk mikrokontroler

8		Processing	Membuat display data dan penyimpanan
9		Microsoft Excel	Membuka data dan mengolah grafik
10	Sampel	Tanah pasir lempungan	Sampel dalam tes uji longsor

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

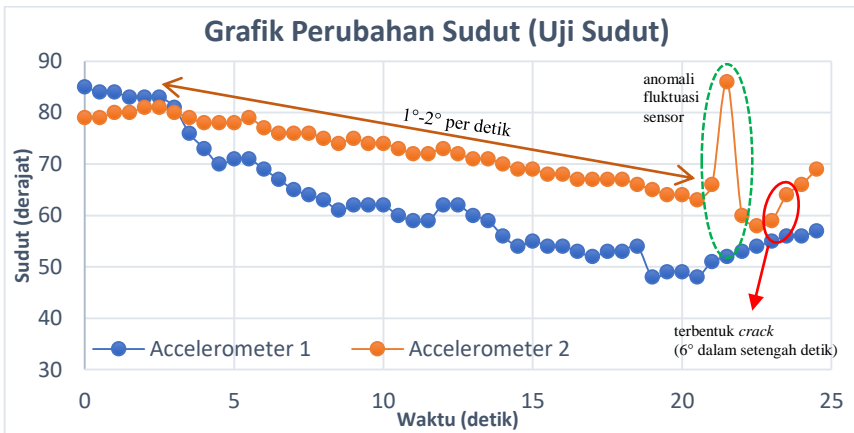
Prototipe alat yang sudah dibuat diuji pada model lereng yang telah dibuat sebelumnya. Uji coba dibagi menjadi 2 bagian. Bagian pertama yaitu uji pengaruh sudut. Uji coba ini bertujuan untuk menguji performa dari sensor *accelerometer* ketika terjadi perubahan sudut pada model lereng dan melihat apakah ada indikasi yang terbaca ketika terjadi longsor. Pada bagian kedua yaitu uji kadar air yang bertujuan untuk menguji performa dari sensor kelembaban dalam membaca kadar air dan melihat apakah ada indikasi yang terbaca pada saat terjadi longsor. Data teknis pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data teknis pengukuran

Jenis Tanah	Massa Tanah	Volume Tanah	Densitas Tanah	Sudut Awal	Penambahan volume air	Keterangan
Pasir lempungan	19 kg	$1.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$	1,532.25 kg/m ³	26°	-	Uji pengaruh sudut
Pasir lempungan	23.6 kg	$1.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$	1,903.22 kg/m ³	43°	6.33 liter	Uji pengaruh air

4.1.1 Uji Pengaruh Sudut

Uji yang pertama dilakukan yaitu uji pengaruh sudut. Uji ini dilakukan dengan mengangkat secara perlahan bagian dasar dari kotak. Karena keterbatasan dari kotak yang dibuat, maka pengangkatan dilakukan secara manual. Laju pengangkatan tidak dapat dihitung dengan tepat, tetapi dapat dilihat dari tren data yang diperoleh.



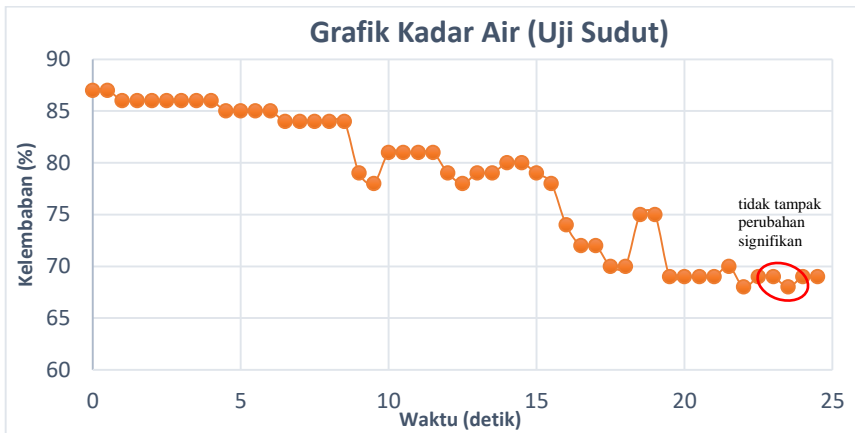
Gambar 4. 1 Grafik perubahan sudut berbanding waktu hasil uji sudut.

Dari Gambar 4.1, dapat dilihat perubahan sudut yang terjadi selama pengujian pengaruh sudut. Sudut awal dari kedua *accelerometer* sedikit berbeda yaitu 85° pada *accelerometer* 1 dan 79° pada *accelerometer* 2. Nilai ini sudah stabil selama 8 detik yang ditetapkan sebagai waktu untuk kalibrasi berdasarkan datasheet modul GY 521. Perbedaan nilai ini disebabkan karena faktor pemasangan yang mana sulit untuk memposisikan agar sensor untuk benar-benar lurus. Namun, karena analisa yang dilakukan berdasarkan perubahan sudut maka perbedaan inisial sudut sensor ini dapat diabaikan. Sesaat setelah kotak diangkat, dapat dilihat penurunan sudut yang dipengaruhi oleh pengangkatan. Pengangkatan berpengaruh lebih besar terhadap *accelerometer* 1. Hal ini disebabkan karena *accelerometer* 1 berada pada permukaan tanah sehingga berubahnya sudut permukaan tanah sangat terasa pada sensor. Beberapa kali kenaikan nilai sensor (meskipun tidak drastis) merupakan faktor dari laju pengangkatan yang tidak stabil karena dilakukan secara manual. Sensor 2 yang letaknya dalam tanah, menghasilkan perubahan yang relatif lebih halus dengan rerata perubahan sudut sebesar 1° - 2° per detik.



Gambar 4. 2 Rekahan yang terbentuk pada model hasil uji sudut

Terjadi anomali pada detik ke 21.5 dimana nilai sensor yang terbaca sebesar 86° yang mana mempunyai selisih 20° dengan nilai yang terbaca setengah detik sebelumnya. Pada dokumentasi pengujian tidak ditemukan adanya tanda-tanda longsor atau perubahan signifikan yang terjadi. Oleh sebab itu, kemungkinan penyebab anomali tersebut adalah akibat dari fluktuasi dari nilai *output* sensor. Pada detik ke 23 pengujian mulai terlihat *crack* yang cukup jelas di permukaan tanah seperti terlihat pada gambar 4.2. Dari data yang diperoleh, pada detik ke 23 terjadi perubahan sudut yang signifikan sebesar 6° dalam waktu setengah detik selanjutnya. Dalam waktu 1.5 detik setelahnya longsor sudah terjadi. Longsor terjadi pada sudut 43° .

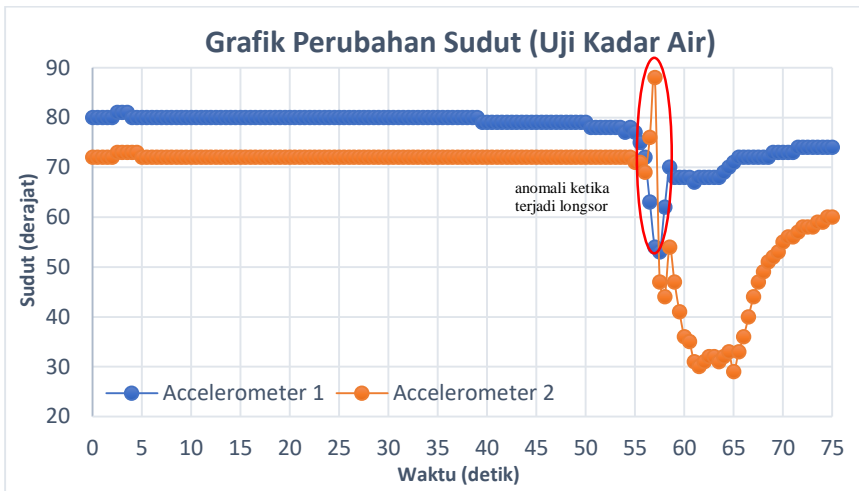


Gambar 4. 3 Grafik kadar air berbanding waktu hasil uji sudut.

Data yang diperoleh dari sensor kadar air pada Gambar 4.3, pada detik yang sama tidak tampak perubahan yang signifikan dari grafik kadar air. Data yang diperoleh dari sensor kadar air tidak memiliki korelasi yang kuat dengan data dari *accelerometer*. Grafik mengalami penurunan seiring pengangkatan. Terjadi penurunan kelembaban dari 87% pada awal pengukuran hingga mencapai 69% pada akhir pengukuran. Artinya dalam waktu 24.5 detik pengujian, tanpa pemberian pengaruh apapun pada kadar air pada tanah, menyebabkan kadar kelembabannya berkurang sebesar 18%.

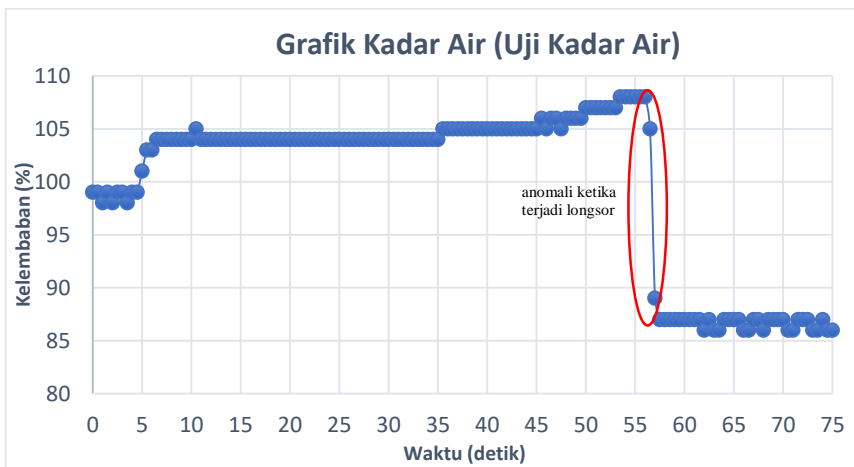
4.2.2 Uji Pengaruh Kadar Air

Uji kedua yaitu uji pengaruh kadar air. Uji ini dilakukan pada sudut sebesar 43° . Sudut ini dipilih berdasarkan uji sebelumnya dimana pada sudut ini model sudah membentuk *crack*. Air ditambahkan melalui boks infiltrasi yang terdapat pada bagian ujung model. Penambahan air dengan metode ini untuk mensimulasikan aliran air pada lapisan tanah bagian bawah.



Gambar 4. 4 Grafik perubahan sudut berbanding waktu hasil uji kadar air.

Sebelum terjadi anomali, sudut dari sensor relatif stabil seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Hal ini karena sudut model tidak diubah. Pada detik ke 56, mulai terjadi anomali seperti yang terjadi pada uji sebelumnya yaitu perubahan kenaikan sudut yang tajam. Perubahan sudut yang terjadi sebesar 7° dalam setengah detik dan bertambah lagi 12° setengah detik kemudian. Anomali ini terjadi sesaat sebelum terjadinya longsor. Pada *accelerometer 1*, nilai sudut mengalami penurunan sebesar 9° . Longsor yang terjadi berupa luncuran dimana seluruh model meluncur turun pada bidang gelincir. Longsoran luncuran terjadi karena lapisan bawah model telah jenuh air sehingga gaya penahan terhadap lapisan bawah kotak menjadi kecil dan tidak mampu menahan beban model. Luncuran ini pada grafik ditunjukkan pada data yang terus mengalami penurunan sudut secara drastis. Tercatat hingga detik ke 61, sudut *accelerometer 2* sudah mencapai 30° . Hal ini disebabkan oleh luncuran tanah yang mendorong sensor.



Gambar 4. 5 Grafik kadar air berbanding waktu hasil uji kadar air

Pada uji ini, sensor kelembaban berhasil merekam suatu anomali yang sesuai dengan waktu terjadinya longsor. Diawal pengujian, kadar kelembaban sebesar 98%. Nilai ini kemudian naik menjadi 101% pada detik ke 5 dan menjadi 104% pada detik ke 6. Kenaikan disebabkan karena air telah meresap pada tanah. Pada detik ke 56, sama dengan yang terekam pada *accelerometer*, terjadi perubahan yang signifikan. Ada penurunan kadar kelembaban sebesar 21%, dari 108% menjadi 87% pada detik ke 57. Penurunan drastis ini disebabkan meluncurnya tanah sehingga sensor tidak lagi berada dalam tanah seperti terlihat pada gambar 4.6. Karena sensor diletakkan secara menggantung, maka sensor tidak dapat ikut meluncur turun ketika longsor.



Gambar 4. 6 Luncuran pada uji kadar air

4.2 Pembahasan

Metode *multi segment inclinometer* merupakan sebuah pendekatan yang baru dibandingkan dengan ekstensometer yang telah lama digunakan sebagai perangkat monitoring pergerakan tanah (Uchimura dkk., 2015). Pada penelitian ini penggunaan *multi segment inclinometer* sebagai sistem monitoring pergerakan tanah dapat berfungsi dengan baik untuk memantau parameter perubahan sudut dan kadar air. Sensor *accelerometer 2*, yang dipasang didalam tanah, menunjukkan hasil yang merepresentasikan pergerakan tanah yang terjadi dibandingkan dengan *accelerometer 1* yang dipasang dipermukaan tanah seperti *inclinometer* pada umumnya.

Indikasi terjadinya longsor pada sensor *accelerometer* berupa perubahan sebesar 6° - 12° dalam waktu setengah detik. Dilihat dari jenis longsor yang terjadi, pada uji penambahan sudut longsor yang terjadi berjenis jatuhan. Jenis longsor ini didahului dengan terbentuknya rekahan sebagai tanda terjadinya pergerakan tanah (Hardiyatmo, 2006). Terjadinya rekahan menyebabkan pergerakan yang tiba-tiba pada tanah yang kemudian terdeteksi sebagai perubahan yang signifikan pada *accelerometer 2*. Pada uji kadar air, longsor yang terjadi berjenis luncuran. Longsor yang terjadi pada model uji tidak didahului dengan terbentuknya rekahan namun berupa luncuran seluruh model. Luncuran disebabkan karena air menjenuhkan tanah pada bidang gelincir. Hal ini terlihat dari perubahan sudut pada *accelerometer 2* yang lebih besar daripada

accelerometer 1. *Inclinometer* harus dipasang pada daerah yang memiliki kerentanan tanah yang tinggi sehingga rawan terjadi longsor. Pemetaan daerah rawan longsor ini dapat menggunakan metode sistem informasi geografis (Firdaus dan Sukojo, 2015; Harto dkk., 2017) atau melalui penyelidikan geofisika (Aisyah dkk., 2017).

Sensor kelembaban kurang menunjukkan hasil yang efektif pada uji perubahan sudut. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian tidak dilakukan penambahan air pada model. Perubahan kadar air yang terjadi disebabkan karena terjadi perubahan kepadatan tanah yang berada disekitar sensor akibat pengangkatan model. Sensor kelembaban yang digunakan berjenis *capasitive moisture sensor* yang mana mengukur nilai kelembaban berdasarkan konstanta dielektrik dari suatu medium. Hal ini dibuktikan dengan penurunan nilai yang terukur oleh sensor yang mengindikasikan berkurangnya kepadatan tanah disekitar sensor. Sensor kadar air berfungsi efektif pada uji kadar air, namun perubahan kadar air tidak menunjukkan indikasi saat sebelum terjadi longsor. Kadar air tidak dapat digunakan sebagai parameter tunggal dalam menentukan terjadinya longsor (Uchimura dkk., 2015). Agar dapat menganalisa pengaruh kadar air dalam terjadinya longsor perlu ditambahkan faktor lain seperti besar curah hujan, lama intensitas hujan dan tekanan pori dalam tanah (Hardiyatmo, 2006).

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Prototipe *multi segment inclinometer* berbasis *accelerometer* dan sensor kelembaban dapat digunakan sebagai sistem monitoring pergerakan tanah secara *real time* dengan membaca indikasi terjadinya longsor pada model berdasarkan perubahan sudut dan kadar air. Perubahan sudut sebelum terjadinya longsor pada uji pengaruh sudut sebesar 6° dan pada uji kadar air sebesar 7° - 12° . Perubahan kelembaban pada uji kadar air sebesar 21% .

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian, ada beberapa saran untuk penelitian berikutnya, yaitu:

1. Pengembangan alat pada skala sebenarnya untuk menguji efektifitas *prototipe*.
2. Penambahan sensor lain seperti sensor curah hujan dan *pore water pressure* untuk mendapat data mengenai kadar air lebih lengkap
3. Penambahan data-data mekanika tanah untuk melengkapi penjelasan pergerakan tanahnya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, M., Utama, W. dan Lestari, W. (2017), "Analisis Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor Berdasarkan Zona Water Content Di Desa Olak Alen Kecamatan Selorejo, Blitar", *Geosaintek*, Vol.3, No.2.
- Bowles, J. (1989), *Sifat-Sifat Fisis & Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Firdaus, H.S. dan Sukojo, B.M. (2015), "Pemetaan Daerah Rawan Longsor Dengan Metode Penginderaan Jauh Dan Operasi Berbasis Spasial, Studi Kasus Kota Batu Jawa Timur", *Geosaintek*, Vol.1, No.1.
- Gaddam, A., Al-Hrooby, M. dan Esmael, W.F. (2004), "Designing A Wireless Sensor Network for Monitoring and Predicting Droughts", *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology*, Liverpool,.
- Gani, S.H., Musa, T.D. dan Nismayanti, A. (2013), "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Soil Moisture Sensor Sen0057 Berbasis Mikrokontroler Atmega328p", *Gravitasi*, Vol.13, No.1.
- Hansen, M.J. (1984), "Strategies for Classification of Landslides", dalam *Slope Instability*, eds. Brunnsden, D. dan Prior, D. B., Wiley, hal. 1–25.
- Hardiyatmo, H.C. (2006), *Penanganan Tanah Longsor & Erosi*, Gadjah Mada University Press.
- Harto, M.F.D., Rachman, A., L, P.R., Aisyah, M., W, H.P., Abigail, N., R, F.N. dan Utama, W. (2017), "Pemetaan Daerah Rawan Longsor Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis Studi Kasus Kabupaten Bondowoso", *Geosaintek*, Vol.3, No.3.
- Hirnawan, R.F. (1993), *Ketanggapan Stabilitas Lereng Perbukitan Rawan Gerakan- tanah atas Tanaman Keras, Hujan & Gempa*, Universitas Padjadjaran.
- Pasuto, A. dan Soldati, M. (1997), "Rock Spreading", dalam *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes*, eds. Dikau, R., Brunnsden, D., Schortt, L., dan Ibsen, M. ., John Wiley & Sons.
- Risdiyanto, I. (2011), *Identifikasi Daerah Rawan Longsor*. Diambil 1 September 2018, dari https://www.researchgate.net/publication/305560255_Identifikasi_Daerah_Rawan_Longsor.
- Setiadi, F. (2017), *Rancang Bangun Prototipe Early Warning System Tanah Longsor Menggunakan Sensor Majemuk Berbasis GSM*, Elektro Politeknik Negeri Padang.
- Sudana, I.M. (2010), "Alat Ukur Kadar Air dalam Tanah (Soil Tester) Berbasis Mikrokontroler", *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.2.
- Supriyadi, D.F. (2016), *Sistem Monitoring Pergerakan Tanah Terhadap*

Potensi Longsor Secara Wireless Berbasis Mikrokontroller, Universitas Airlangga.

Uchimura, T., Towhata, I., Wang, L., Nishie, S., Yamaguchi, H., Seko, I. dan Qiao, J. (2015), "Precaution and Early Warning of Surface Failure of Slopes Using Tilt Sensors", *Soils and Foundation*, Vol.55, No.5, hal. 1086–1099.

Varnes, D.J. (1987), "Slope Movement Type and Processes", dalam *Landslides : Analysis and Control*, eds. Schuster, R. L. dan Krizek, R. J., National Research Council, Washington DC, hal. 11–33.

PROFIL PENULIS



Penulis dilahirkan di Lumajang pada 8 Juni 1995 dari pasangan Bapak Djeni Dahlan dan Ibu Nur Khasanah. Penulis kini berdomisili di Surabaya sembari menyelesaikan studi di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sebelum menempuh pendidikan tinggi, penulis pernah bersekolah di SDN Ditotrunan 1, SMPN 1 Lumajang dan SMAN 2 Lumajang.

Penulis memiliki ketertarikan terhadap bidang minat *near surface geophysics*. Penulis mempunyai pengalaman dalam penelitian penyelidikan air tanah, penyelidikan persebaran limbah, *archaeogeophysic*, pemetaan aliran gua bawah tanah dan penelitian tugas akhir ini mengenai geofisika teknik. Tidak hanya keprofesian, penulis juga aktif dalam beberapa organisasi diantaranya menjadi wakil ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS, staff ahli PSDM Paguyuban Karya Salemba Empat ITS dan sekarang masih menjabat sebagai *Chief Executive Officer* di organisasi sosial Duacare.

Apabila ada sesuatu yang ingin ditanyakan lebih lanjut mengenai penelitian tugas akhir ini atau ingin mengetahui penulis lebih dalam, penulis dapat dihubungi melalui email di afifhamzah08@gmail.com.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN

- **Script Arduino**

// MPU-6050 Short Example Sketch

// By Arduino User JohnChi

// August 17, 2014

// Public Domain

//Modified by Pravat Kumar

//Modified by Hamzah Afif (Oct 2018) for multiple MPU-6050

#include<Wire.h>

const int MPU_addr_1=0x68; // I2C address for first MPU-6050

const int MPU_addr_2=0x69; // I2C address for second MPU-6050

int16_t

Ac1X,Ac1Y,Ac1Z,Tmp1,Gy1X,Gy1Y,Gy1Z,Ac2X,Ac2Y,Ac2Z,Tmp2,Gy2X,
Gy2Y,Gy2Z;

float rad1,deg1,rad2,deg2;

long t=0;

long tdiff;

float dt,anv1,anv2,angle1=0,angle2=0,an1,an2;

int moist;

int moist_val;

//float cob1;

//float cob2;

void setup(){

Wire.begin();

Wire.beginTransmission(MPU_addr_1);

Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register

Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)

Wire.endTransmission(true);

Serial.begin(9600);

Wire.begin();

Wire.beginTransmission(MPU_addr_2);

Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register

Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)

Wire.endTransmission(true);

```

Serial.begin(9600);

t=millis();}

void loop(){
  Wire.beginTransmission(MPU_addr_1);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr_1,14,true); // request a total of 14 registers
  Ac1X=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C
  (ACCEL_XOUT_L)
  Ac1Y=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
  (ACCEL_YOUT_L)
  Ac1Z=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40
  (ACCEL_ZOUT_L)
  Tmp1=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42
  (TEMP_OUT_L)
  Gy1X=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44
  (GYRO_XOUT_L)
  Gy1Y=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46
  (GYRO_YOUT_L)
  Gy1Z=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48
  (GYRO_ZOUT_L)

  Wire.beginTransmission(MPU_addr_2);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr_2,14,true); // request a total of 14 registers
  Ac2X=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C
  (ACCEL_XOUT_L)
  Ac2Y=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
  (ACCEL_YOUT_L)
  Ac2Z=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40
  (ACCEL_ZOUT_L)
  Tmp2=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42
  (TEMP_OUT_L)
  Gy2X=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44
  (GYRO_XOUT_L)
  Gy2Y=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46
  (GYRO_YOUT_L)

```

```
Gy2Z=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48
(GYRO_ZOUT_L)
```

```
rad1=float(Ac1Y)/sqrt((double(Ac1Z)*double(Ac1Z))+((double(Ac1X)*double
(Ac1X))));
```

```
deg1=(atan(rad1)*180)/3.1416; //radian to degree
```

```
anv1=(float(Gy1X)+200)/131; //getting instantaneous angular velocity || 200
was the gyroscope offset value for me || 131 is the LBS sensitivity(Check data
sheet)
```

```
rad2=float(Ac2Y)/sqrt((double(Ac2Z)*double(Ac2Z))+((double(Ac2X)*double
(Ac2X))));
```

```
deg2=(atan(rad2)*180)/3.1416; //radian to degree
```

```
anv2=(float(Gy2X)+200)/131; //getting instantaneous angular velocity || 200
was the gyroscope offset value for me || 131 is the LBS sensitivity(Check data
sheet)
```

```
tdiff=millis()-t; //getting time difference in milli sec
```

```
dt=float(tdiff)/1000; //converting to seconds
```

```
angle1=angle1+(anv1*dt); //integrating to find angle from gyroscope
```

```
angle2=angle2+(anv2*dt);
```

```
//Complementary filter
```

```
//Combines Gyroscope & Accelerometer data
```

```
an1=((0.8)*(an1+(anv1*dt)))+(deg1*0.20));
```

```
an2=((0.8)*(an2+(anv2*dt)))+(deg2*0.20);
```

```
moist = analogRead(0);
```

```
moist_val = abs((moist-614)*0.317);
```

```
* Now that all data are ready its time to send them
```

```
* Three readings are sent each time & to distinguish one data from other
```

```
* i am sending stop bytes (like '*', '@', '.').
```

```
*/
```

```
Serial.print(int(moist_val));
```

```
Serial.print("*");
```

```
Serial.print(int(an1));
```

```
Serial.print("@");
```

```
Serial.print(int(an2));
```



```

Serial.println(".");
t=millis();
delay(500);}

```

- **Script Processing**

```

import processing.serial.*;
//import java.io.BufferedWriter;
//import java.io.FileWriter;

```

```

Serial port;
Table table;
String filename;

```

```

String data="", moist_val="", accel1_val="", accel2_val="";
int index=0, index2=0;

```

```

int rec2x=1100,rec2y=100;
int rec1x=rec2x,rec1y=400;

```

```

float x1,y1,x2,y2,cx,cy,a,b;
float moist=0,ang2=0,ang1=0,angle1,angle2;
float inc1=1,inc2=1.2;
int tinggi;

```

```

//float accel1_graph[]=new float[160];
//float accel2_graph[]=new float[160];
//int num_sum1 = 0;
//int num_sum2 = 0;

```

```

PFont font1,font2,font3,font4;

```

```

int data_sekarang_moist;
int data_sekarang_accel1;
int data_sekarang_accel2;
int y_sekarang_moist;
int y_sekarang_accel1;
int y_sekarang_accel2;
float[] yValues;
float[] yValues_accel1;

```

```

float[] yValues_accel2;

//float yValues=new float[160];
//float yValues_accel1=new float[160];
//float yValues_accel2=new float[160];

int w;

void setup()
{
    //set ukuran layar
    size(2000,750);
    smooth();
    //frameRate(2000);

    w=920;
    yValues = new float[w];
    yValues_accel1 = new float[w];
    yValues_accel2 = new float[w];

    //membuka komunikasi serial dengan arduino
    port=new Serial(this, "COM5", 9600);
    port.bufferUntil('\n');

    //set up tabel penyimpanan
    table = new Table();
    table.addColumn("Kadar Air");
    table.addColumn("Waktu");
    table.addColumn("Tanggal");
    table.addColumn("Accelerometer 1");
    table.addColumn("Accelerometer 2");

}

void draw()
{
    //set up background dan judul
    background(225);

```

```

textSize(20);
fill(0);
text("MULTI SEGMENT INCLINOMETER",600,25);

//set up untuk tampilan waktu
int d= day();
int m= month();
int y= year();
int h= hour();
int n= minute();
int s= second();

//menampilkan waktu
String strCalendar = "Tanggal :" + str(d) + "-" + str(m) + "-" + str(y);
String strTime = "Waktu   :" + str(h) + ":" + str(n) + ":" + str(s);
fill(0);
textSize(15);
text(strCalendar,20,60);
text(strTime,20,80);

//background grafik accelerometer vs time
strokeWeight(1.2);
stroke(0);
fill(225);
rect(0,120,1000,250);
fill(0);
text("Grafik Kadar Air Berbanding Waktu",15,115);

strokeWeight(1);
stroke(0);
fill(225);
rect(0,400,1000,330);
fill(0);
text("Grafik Accelerometer Berbanding Waktu",15,395);

strokeWeight(1);
stroke(200);
for(float j=0;j<11;j++)
line(3,140+21*j,920,140+21*j);

```

```

line(920,140,920,350);

stroke(0);
strokeWeight(1.2);
fill(225);
rect(925,95,75,20);

textSize(10);
fill(150);
text("0",925,350);text("10",925,330);text("20",925,310);text("30",925,290);
text("40",925,270);text("50",925,250);text("60",925,230);text("70",925,210);
text("80",925,190);text("90",925,170);text("100",925,150);

textSize(10);
fill(0);
text("Time Series", 875,365);text("Amplitude",945,250);text("Nilai",
930,108);

textSize(10);
fill(150);
text("90",925,415);text("60",925,463);text("30",925,511);text("0",925,559);
text("-30",925,607);text("-60",925,655);text("-90",925,703);

textSize(10);
fill(0);
text("Time Series", 875,720);text("Amplitude",945,559);

strokeWeight(1);
stroke(200);
for(float j=0;j<7;j++)
line(3,415+48*j,920,415+48*j);
line(920,415,920,703);

//pendefinisian data dari sensor
moist=float(moist_val);
ang2=float(accel2_val);
ang1=float(accel1_val);

```

```

// menampilkan background untuk Accelerometer 2
stroke(0);
strokeWeight(2);
fill(50,10,250);
rect(rec2x,rec2y,250,20);
fill(225);
textSize(15);
text("Sudut Accelerometer 2",1145,115);
stroke(0);
strokeWeight(2);
fill(50,20,200,80);
rect(rec2x,rec2y+20,250,250);
fill(225);
ellipse(rec2x+(250/2),rec2y+20+(250/2),240,240);

//menampilkan data Line Accelerometer 2
cx=rec2x+(250/2);
cy=rec2y+20+(250/2);
angle2=radians(ang2);
a=120*cos(angle2);
b=120*sin(angle2);
x1=cx-a;
y1=cy-b;
x2=cx+a;
y2=cy+b;
stroke(2,2,255);
strokeWeight(4);
line(x1,y1,x2,y2);
fill(0);
noStroke();
fill(0);
text((int(ang2)),cx-30,cy+22);

// menampilkan background untuk Accelerometer 1
stroke(0);
strokeWeight(2);
fill(50,10,250);
rect(rec1x,rec1y,250,20);

```

```

//textFont(font1,22);
fill(225);
textSize(15);
text("Sudut Accelerometer 1",1145,416);
stroke(0);
strokeWeight(2);
fill(50,20,200,80);
rect(rec1x,rec1y+20,250,250);
fill(225);
ellipse(rec1x+(250/2),rec1y+20+(250/2),240,240);

//menampilkan data Line Accelerometer 1
cx=rec1x+(250/2);
cy=rec1y+20+(250/2);
angle1=radians(ang1);
a=120*cos(angle1);
b=120*sin(angle1);
x1=cx-a;
y1=cy-b;
x2=cx+a;
y2=cy+b;
stroke(0,255,0);
strokeWeight(4);
line(x1,y1,x2,y2);
fill(0);
noStroke();
fill(0);
text((int(ang1)),cx-30,cy+22);

// Gambar grafik accelerometer 1
stroke(255,0,0);
strokeWeight(2);

data_sekarang_accel1 = int(map(ang1, 0, 180, 0, 288));
y_sekarang_accel1 = int(559-data_sekarang_accel1);

for(int i = 1; i < w; i++) {
  yValues_accel1[i-1] = yValues_accel1[i];}

```

```
yValues_accel1[w-1] = y_sekarang_accel1;
```

```
for(int i=2; i<w; i++) {  
    stroke(0,255,0);  
    //stroke(2, 75, yValues_accel1[i]);  
    point(i, yValues_accel1[i]);  
}
```

```
// Gambar grafik accelerometer 2
```

```
stroke(255,0,0);  
strokeWeight(2);
```

```
data_sekarang_accel2 = int(map(ang2, 0, 180, 0, 288));  
y_sekarang_accel2 = int(559-data_sekarang_accel2);
```

```
for(int i = 1; i < w; i++) {  
    yValues_accel2[i-1] = yValues_accel2[i];}
```

```
yValues_accel2[w-1] = y_sekarang_accel2;
```

```
for(int i=2; i<w; i++) {  
    stroke(2, 75, yValues_accel2[i]);  
    point(i, yValues_accel2[i]);  
}
```

```
// Gambar grafik kadar air
```

```
stroke(255,255,0);  
strokeWeight(2);
```

```
if(moist != 0){  
    data_sekarang_moist = int(map(moist, 0, 100, 0, 210));  
    y_sekarang_moist = int(351-data_sekarang_moist);
```

```
for(int i = 1; i < w; i++) {  
    yValues[i-1] = yValues[i];}
```

```
yValues[w-1] = y_sekarang_moist;
```

```
for(int i=2; i<w; i++) {
```

```

        stroke(220, 75, 225);
        point(i, yValues[i]);
    }
}

fill(0);
text(int(moist),960,110);
fill(0);
text("%", 985,110);

}

void serialEvent(Serial port)    //fungsi loop pengambilan data dari serial
arduino
{
    //pendefinisian data yang diambil
    data= port.readStringUntil('.');
    data=data.substring(0,data.length()-1);
    index= data.indexOf("*");
    index2=data.indexOf("@");

    //membaca data
    moist_val= data.substring(0,index);
    accel1_val= data.substring(index+1,index2);
    accel2_val=data.substring(index2+1,data.length());

    //pendefinisian data waktu
    int d= day();
    int m= month();
    int y= year();
    int h= hour();
    int n= minute();
    int s= second();

    //penyimpanan data
    TableRow newRow = table.addRow();
    newRow.setString("Tanggal", str(d) + ":" + str(m) + ":" + str(y));
    newRow.setString("Waktu", str(h) + ":" + str(n) + ":" + str(s));
    newRow.setString("Accelerometer 1", accel1_val);

```



```
newRow.setString("Accelerometer 2", accel2_val);  
newRow.setString("Kadar Air",moist_val);
```

```
filename = "tes_airr" + ".csv";  
saveTable(table, filename);  
}
```

- **Dokumentasi pengujian**

